バルブデバイス実験装置

VDS-2

取扱説明書

お願い
この取扱説明書は、実際に御使用になられる方のお手元にも
必ず届くよう、お取り計らい下さい。

株式会社 精工社製作所

IN No.4157(2)

1.安全上の御注意

　据付、運転、保守、点検の前に必ずこの取扱説明書とその他の付属書類のすべてについて熟読し、正しく御使用ください。機器の知識、安全の情報、そして注意事項の全てについて習熟してから御使用ください。

　この取扱説明書では、安全注意事項のランクを「高度の危険」、「危険」、「注意」として区分してあります。

高度の危険	**取扱を誤った場合に、極度に危険な状況が起こりえて、死亡又は重傷を受ける可能性が想定される場合。**
危　険	**取扱を誤った場合に、危険な状況が起こりえて、死亡又は重傷を受ける可能性が想定される場合。**
注　意	**取扱を誤った場合に、危険な状況が起こりえて、中程度の傷害や軽傷を受ける可能性が想定される場合及び物的損害のみの発生が想定される場合。**

注　意　に記載した事項でも、状況によっては重大な結果に結びつく可能性があります。いずれも重要な内容を記載しておりますので、必ず守って下さい。

1. 安全上の御注意

危　険

- 危険な為、運搬したり据え付ける場合は、本体の下に手や足を絶対に入れないで下さい。
- 感電の危険がある為、配線工事をする場合は電源を必ず切り確認の後に工事を行って下さい。
- 火災の危険がある為、水滴の掛かった状態での運転は絶対にしないで下さい。
- 感電の危険がある為、濡れた手での操作は絶対にしないで下さい。
- 感電の危険があ為、電気回路、器具等の保守点検を行う場合は電源を「OFF」にして行って下さい。

注　意

- 感電を防ぐ為、アース端子を接地して下さい。
- 本器への損傷を防ぐ為、抵抗器又は変圧器のタップ位置は正当な理由のない限り変更しないで下さい。
- 転倒の恐れがある為、キャスタ付機器の上に乗らないで下さい。
- 正当な理由のない限り分解、組立は行わないで下さい。
- 安全を確保する為、警告ラベルが剥がれたり汚損した場合は新しい物と取り換えて下さい。

2-1 電源部

	交流電源	直流電源
電圧	100V	100V
最大電流	5A	5A
電圧計	0～150V　1.5 級	0～150V　1.5 級
入力電源表示灯	乳白色　LED	乳白色　LED
過電流保護	5A　サーキットプロテクタ	5A　サーキットプロテクタ
電源、出力端子	10A　φ4 バナナプラグ用	10A　φ4 バナナプラグ用

2-2 サイリスタ基本実験

アノード、カソード間電圧	DC100V
ゲート回路電源	AC100V
負荷電流	3A max.
ゲート電流調整器	500Ω　1.5W
ゲート電流 ON/OFF スイッチ	3A　30Vdc
電源、計測端子	10A　φ4 バナナプラグ用
サイリスタ素子	SKT16/08（セミクロン）
負荷抵抗	39Ω　120W　2 本直列

2-3 IGBT 基本実験

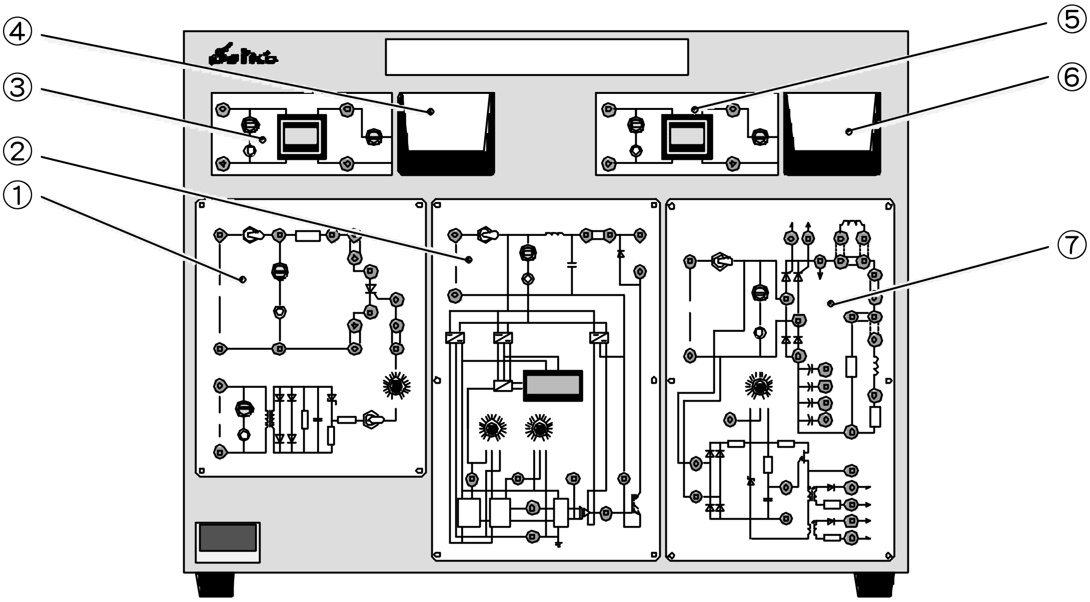
コレクタ、エミッタ間電圧	DC100V
負荷電流	2A max.
チョッパー周波数	500～10,000Hz
チョッパー周波数調整器	50kΩ　0.25W
デューティー比調整器	100kΩ　0.25W
チョッパー周波数表示器	0～19999 表示
電源、計測端子	10A　φ4 バナナプラグ用
IGBT 素子	GT15J311　絶縁ゲート形（東芝）
負荷抵抗	なし（40Ω　300W 以上が別途必要）

2-4 サイリスタ位相制御全波整流実験

電源電圧	AC100V
負荷電流	2A　max.
単相全波整流回路方式	混合ブリッジ形整流回路
平滑回路構成	コンデンサ、チョークコイルインプット形可能
平滑用コンデンサ	100μF　250WV　電解コンデンサ
平滑用チョークコイル	3A　5mH　0.02Ω
点弧角調整器	100kΩ　1.5W
電源、計測端子	10A　φ4 バナナプラグ用
サイリスタ素子	SKCH28/04（セミクロン）
負荷抵抗	39Ω　120W　2 本直列

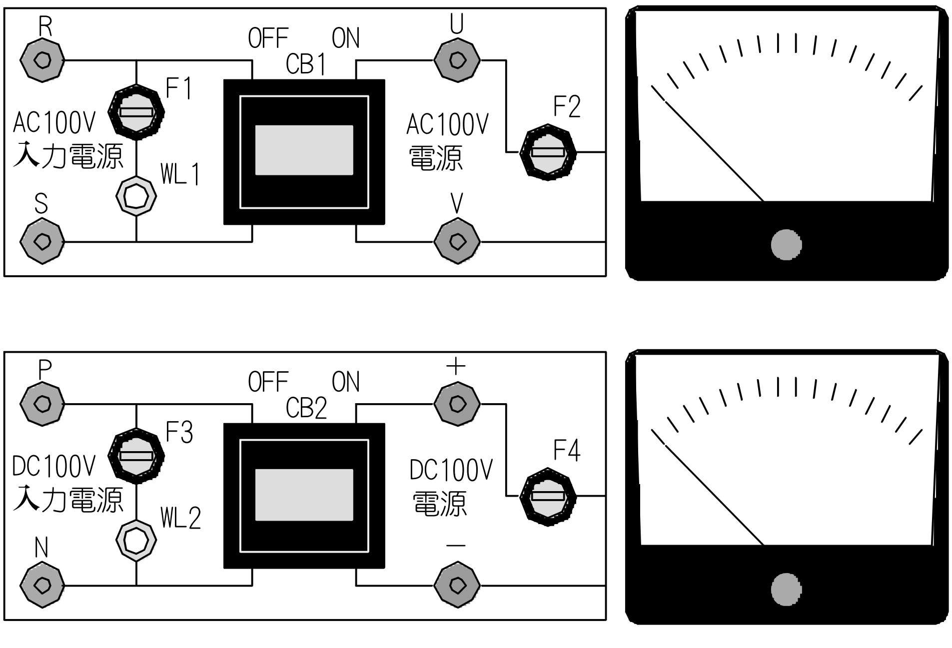
3.実験装置機器配置

3-1 全体配置図

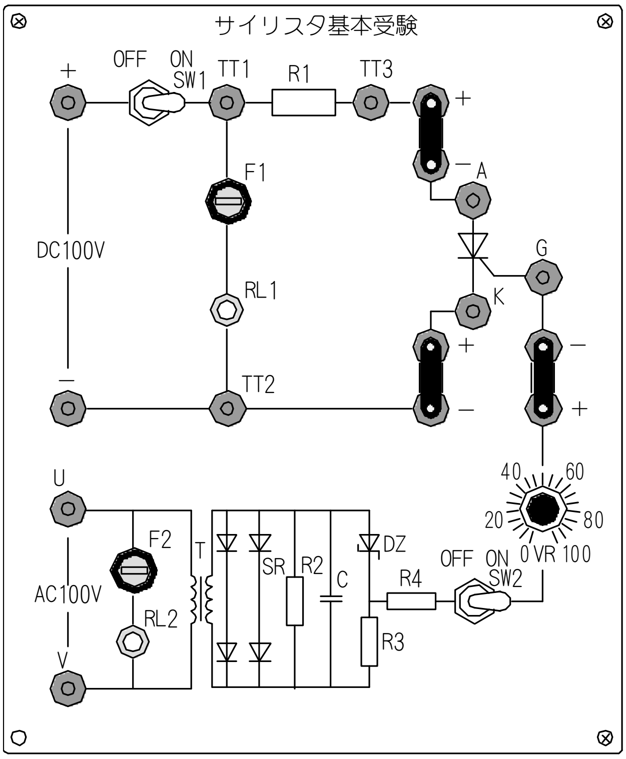


1	サイリスタ基本実験ディスプレイ	5	直流 100V 電源ディスプレイ
2	IGBT 基本実験ディスプレイ	6	直流 100V 入力電圧計
3	単相 100V 電源ディスプレイ	7	サイリスタ位相制御全波整流実験ディスプレイ
4	単相 100V 入力電圧計		

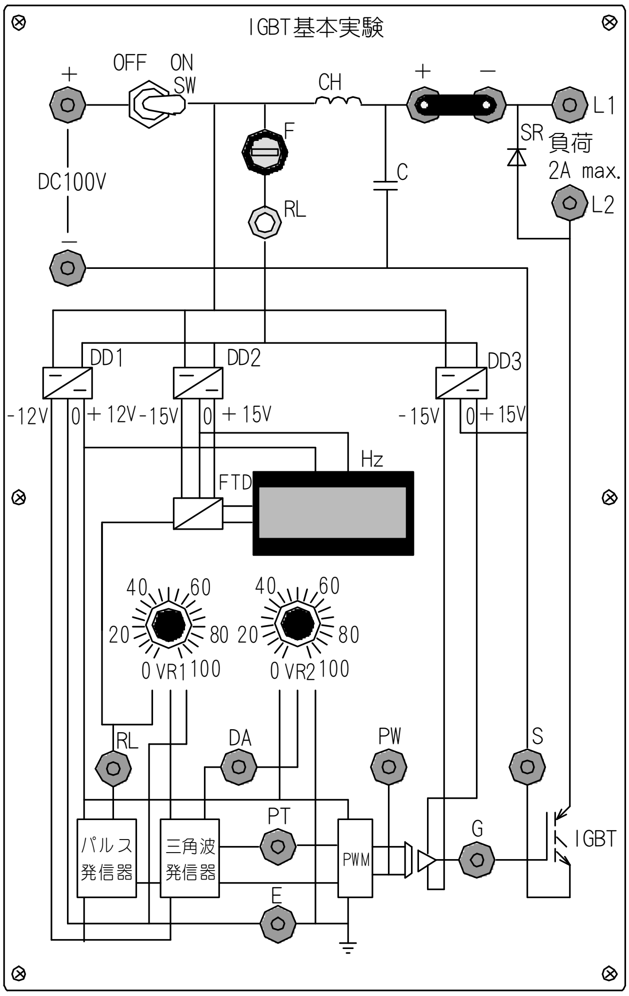
3-2 電源部配置図



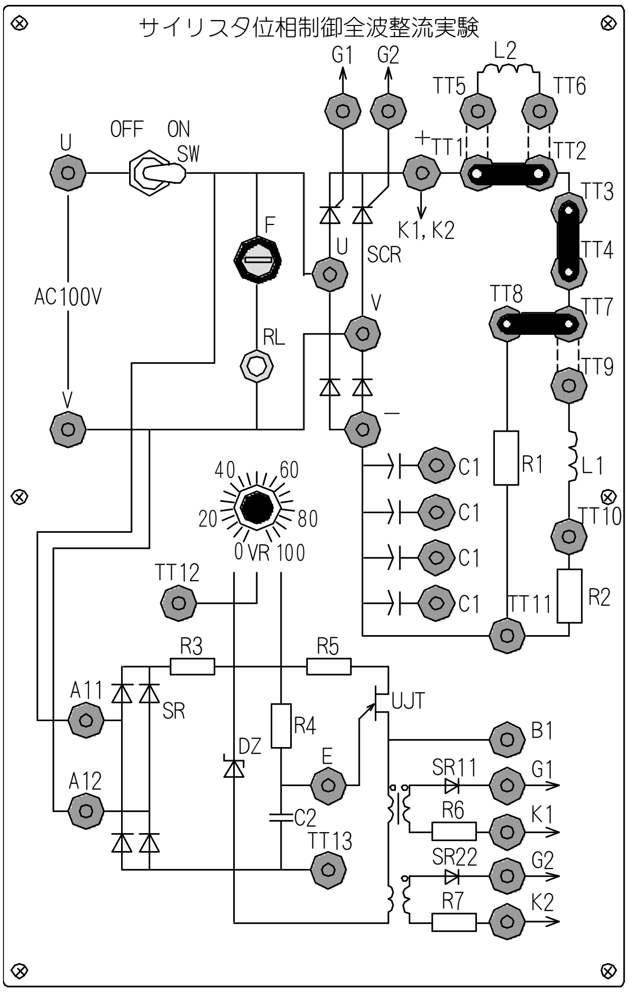
3-3　サイリスタ基本実験



3-4　IGBT 基本実験



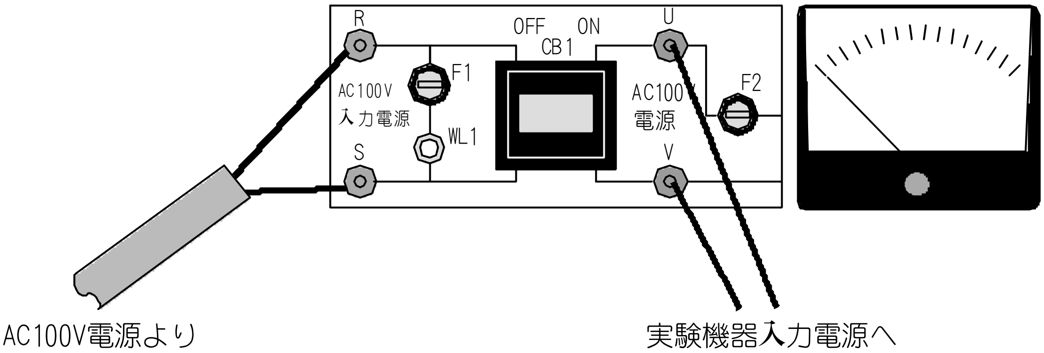
3-5　サイリスタ位相制御全波整流実験



4.電源部

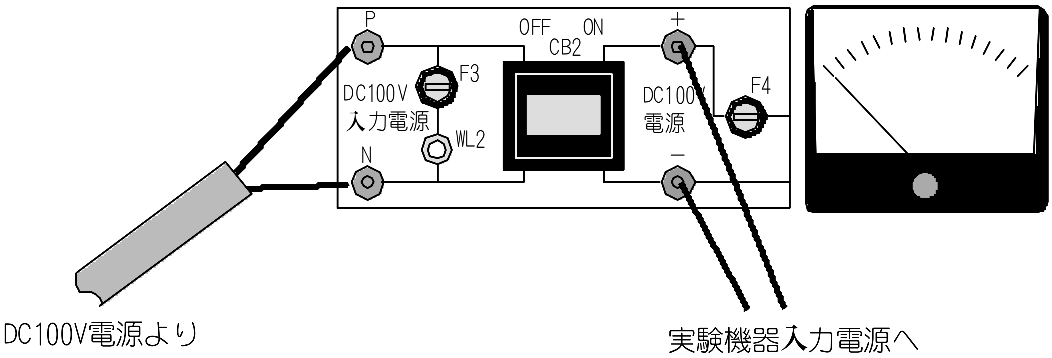
4-1　単相 100V 電源

　単相 100V 電源は、サイリスタ基本実験およびサイリスタ位相制御全波整流実験を行う場合に必要となります。
電源入力は、全面の「AC100V 入力電源」と記入されている端子により行い、サーキットプロテクタ[CB1]を"ON"することで「AC100V 電源」端子に出力出来ます。
「AC100V 入力電源」に電源が供給されると表示灯[WL1]が点灯し、サーキットプロテクタ[CB1]を"ON"にすると電圧計により電圧表示を行います。



4-2　直流 100V 電源

　直流 100V 電源は、サイリスタ基本実験および IGBT 基本実験を行う場合に必要となります。
電源入力は、全面の「DC100V 入力電源」と記入されている端子により行い、サーキットプロテクタ[CB2]を"ON"することで「DC100V 電源」端子に出力出来ます。
「DC100V 入力電源」に電源が供給されると表示灯[WL2]が点灯し、サーキットプロテクタ[CB2]を"ON"にすると電圧計により電圧表示を行います。

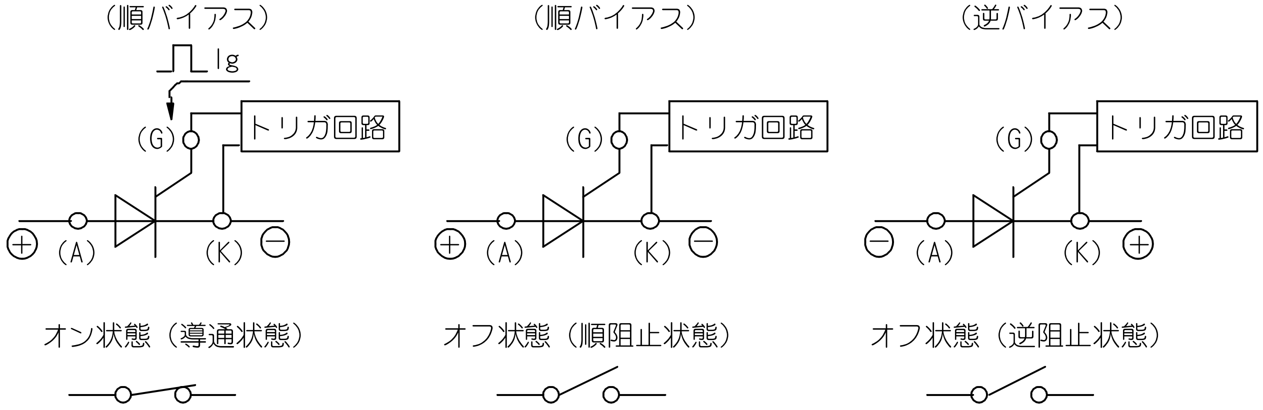


サイリスタの最も基本的な特性であるゲート信号(Ig)を与え、ゲート信号がある一定値を超えるとアノード(A)、カソード(K)間が導通状態（ターンオン現象）となり、一旦アノード、カソード間が導通状態になるとゲート信号を取り除いてもアノード、カソード間は導通状態を維持し続ける現象を実験します。
また、サイリスタの静特性についても実験が出来ます。

5-1　サイリスタ動作原理

サイリスタには基本的に導通状態、順阻止状態、及び逆阻止状態も三つの状態があります。
図5-1はその各の状態を示します。
回路中において、等価的にサイリスタをスイッチと置き換えて考えれば良く、導通状態ならばスイッチを閉じた状態（オン状態）に等しく、順阻止状態と逆阻止状態ならばスイッチを開いた状態（オフ状態）と等しくなります。

図5-1



オフ状態からオン状態に移行するためにはいくつかの方法がありますが、最も一般的な方法はゲートトリガによるターンオン（点弧）です。
ターンオンさせるには次の二つの条件を同時に満足させる必要があります。

（1） サイリスタのアノード(A)、カソード(K)間が順バイアスされていること
（2） サイリスタのゲート(G)に正のトリガパルスが与えられていること

ゲートトリガの方法によれば、電源電圧（A-K 間）の大きさや立ち上がり及び回路構成には無関係にサイリスタが順バイアスされている期間ならば、トリガパルスを与える時点を調整することによって、アノード電流を流し出す時点を任意に制御することができます。
ゲートパルスを与える時点としては時間を用いても良いが位相角で表す事が多く、このゲートにパルスを与える時点の位相角のことを点弧角と呼んでおり、一般的にはαの記号で表します。

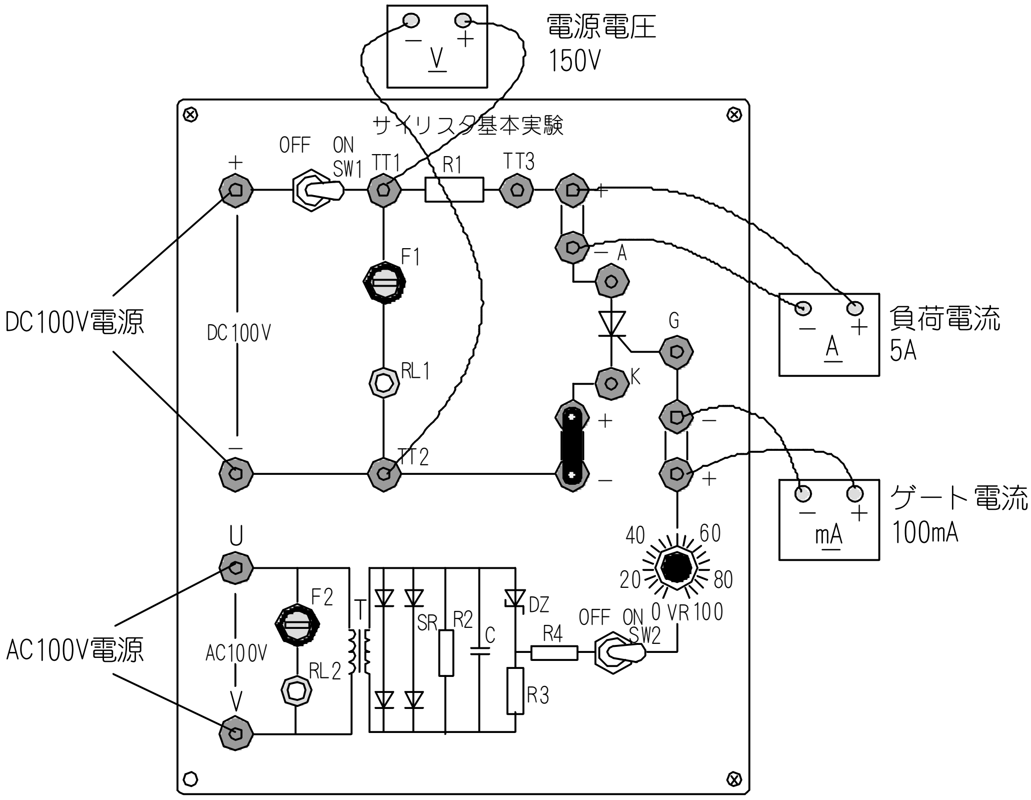
サイリスタのゲートは、点弧（ターンオン）を制御する能力は持っていますが、消弧（ターンオフ）する能力は持っていません、従って消弧しようとすれば次のいずれかの方法によらなければなりません。

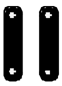
（1） サイリスタのアノード電流を保持電流以下にする
（2） サイリスタのアノード、カソード間に逆電圧（逆バイアス）を印可する

ここで保持電流とは、ゲート電流が無くてもオン電流（アノード電流）を維持できる最小電流をいいます。

5.サイリスタ基本実験

5-2　配線図





負荷電流計及びゲート電流形を接続するため､端子のシュートバーを外します。

5-3　実験順序

（1）5-2 配線図のように接続します。

（2）電源スイッチ（SW1）及びゲート回路スイッチ(SW2)を”OFF”とし、ゲート電流調整器（VR）を左いっぱいの位置にします。

（3）直流電源（CB1）および単相電源(CB2)を”ON”にし、電源表示灯(RL1)、(RL2)が点灯していることを確認します。

（4）電源スイッチ（SW1）を“ ON”として、順バイアスが掛かった状態でアノード電流が流れていないことを電源電圧計及び負荷電流計で確認します。（順阻止状態）

（5）ゲート回路スイッチ(SW2)を”ON”とし、負荷電流計を見ながらゲート電流調整器（VR）を徐々に右回転させます。

（6）負荷電流計により電流が流れたら、ゲート電流調整器（VR）の回転を停止して、ターンオン（導通状態）となったことを確認し、ゲート電流計で点弧開始電流を読み取ります。

（7）ゲート回路スイッチ(SW2)を”OFF”とし、ゲート電流が流れない場合でも負荷電流は流れ続ける事を確認します。（サイリスタに自己消弧能力の無いことを確認します）

（8）電源スイッチ（SW1）を“ OFF”として、ターンオフとなることを確認します。

（9）(4)から(6)を行い、電源電圧、ゲート電流、負荷電流、周囲温度を読み取り、表 5-1 に記録します。

表 5-1

電源電圧(V)	ゲート電流(mA)	負荷電流(A)	周囲温度(°C)
100	15	0	
100	16	0	
100	17	0	
¦	¦	¦	
	- - - - - - - - - - - - - -	- - - - - - - - - - - - - -	ターンオン
100	80 max.		

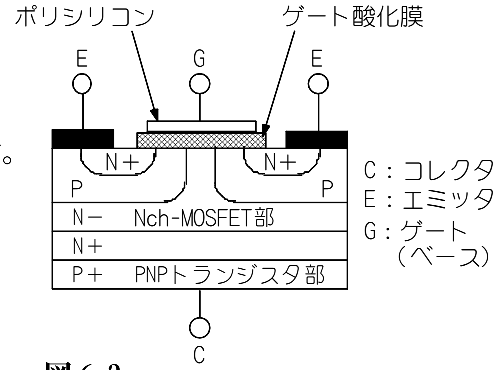
6.IGBT 基本実験

　一定の直流電圧から、可変の直流電圧を得る場合には何らかの電圧調整装置が必要となります。本装置では IGBT により、一定の直流電圧をある間隔で切断（チョッパー）することにより、出力電圧（負荷印可電圧）の平均値を可変する実験を行います。
チョッパー周波数調整は、パルスジェネレーター部で行い 500Hz から 10,000Hz まで調整が可能です。
出力電圧調整は、パルスジェネレーターで発生したパルスのデューティー比を可変することにより行います。

6-1　IGBT の動作原理

　IGBT のチップ構造を図 6-1 に示します。
基本構造は、パワーMOS-FET(N チャンネル)の構造とよく似ています。パワーMOS-FET が N-N 基板としているのに対して、IGBT は P-N 基板となります。
P＋層の追加によって、寄生の PNP トランジスタが形成されます。

図 6-1

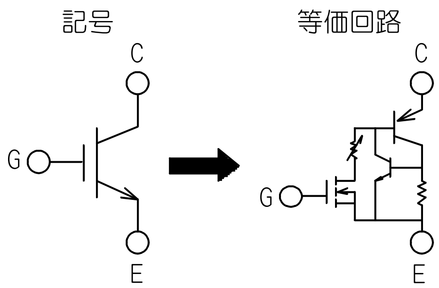


6-2　IGBT も等価回路と動作原理

6-2-1　IGBT の等価回路

　記号、等価回路は図 6-2 のように表されます。
等価回路において NPN トランジスタのベース、エミッタ間抵抗は非常に小さく(短絡)設計され、PNP トランジスタとの連動で起こるラッチアップ現象を防いでいます。
(NPN　トランジスタは動作しない)
IGBT モジュールの場合、フライホイールダイオード(FWD)が並列に接続されるのが一般的であり、この場合はダイオード記号が IGBT に並列に接続されます。

図 6-2

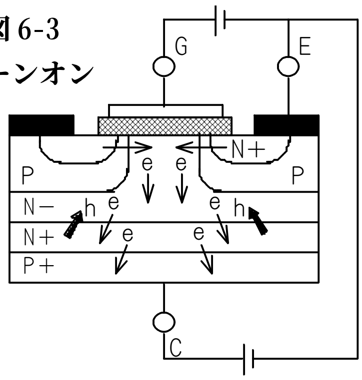


6-2-2　IGBT の動作原理

　動作原理を図 6-3 に示します。
ゲート、エミッタ間への電圧印可によって MOS-FET 部が ON となり、MOS-FET のドレン電流が PNP トランジスタのベース電流となって流れます。このベース電流によって PNP トランジスタ部が ON し、IGBT がオン状態になります。
ゲート、エミッタ間がしきい値電圧以下（零又は負バイアス）になると MOS-FET 部のドレン電流がなくなり、PNP トランジスタ部のベース電流も零となって、IGBT はオフとなります。
IGBT はこの様に MOS-FET と PNP トランジスタの複合素子ですが、一つのチップに構成することによって通電時に伝導度変調と呼ばれる現象が発生し、伝導通電時の抵抗を大きく減少させることができます。

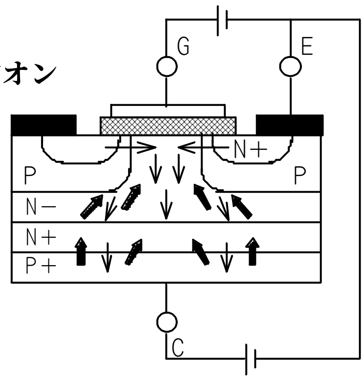
図 6-3

ターンオン



e：電子
h：正孔

定常オン



伝導度
変調状態

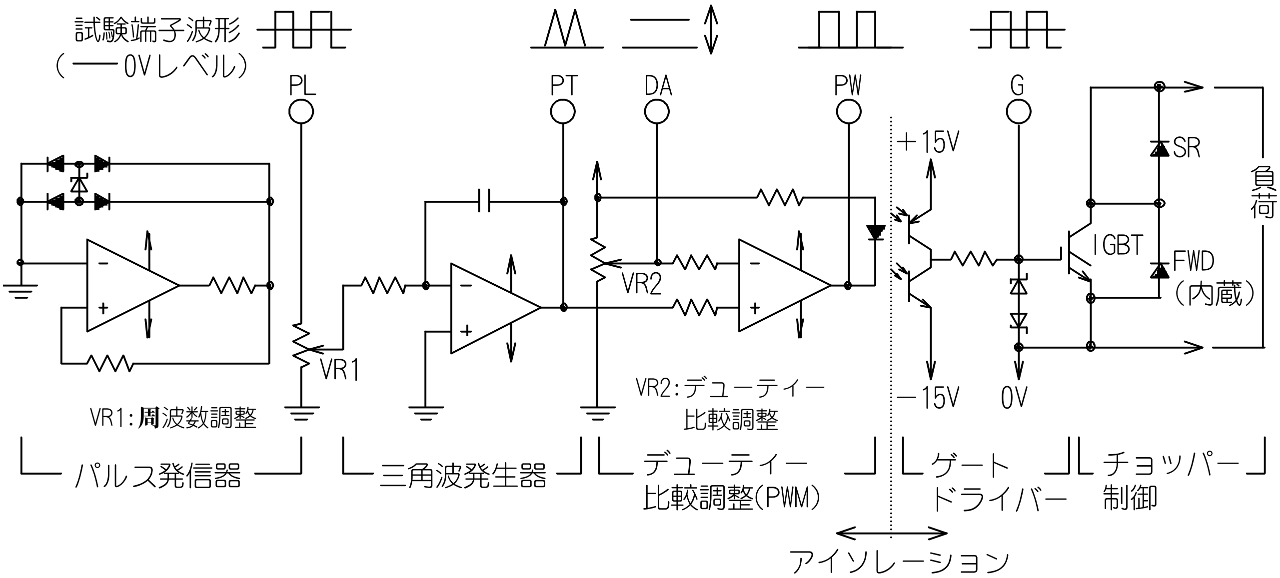
6-2-3　IGBT の特徴

IGBT は電圧制御素子のため、少ない駆動電力で高い性能を発揮します。
また、高電圧大電流定格を実現します。

6-3　IGBT ゲート制御回路

IGBT ゲート制御の基本回路を図 6-4 に示します。
最初にパルス発信器で必要な周波数の方形波を発信させます。次に三角波発生部でオペアンプの積分回路により方形波を三角波に変換します。
デューティー比調整部では、三角波とデューティー比調整器により可変できる直流電源を、コンパレーターにより比較し三角波が直流電圧を超える分のパルス巾の出力を取り出します。
電圧調整器により直流電圧を可変することで、三角波が直流電圧を超える時間を調整し、パルス巾即ちデューティー比を調整します。これをアイソレーションされたゲートドライバー部により増幅し、IGBT のゲートに加えます。
ゲートドライバーは、ゲートに正のパルスを加えることにより、IGBT のコレクタ、エミッタ間を導通（ON）させます。
この制御により、IGBT のコレクタ、エミッタ間の電流がデューティー比によりオン、オフし直流電圧、電流をチョッパ制御します。

図 6-4

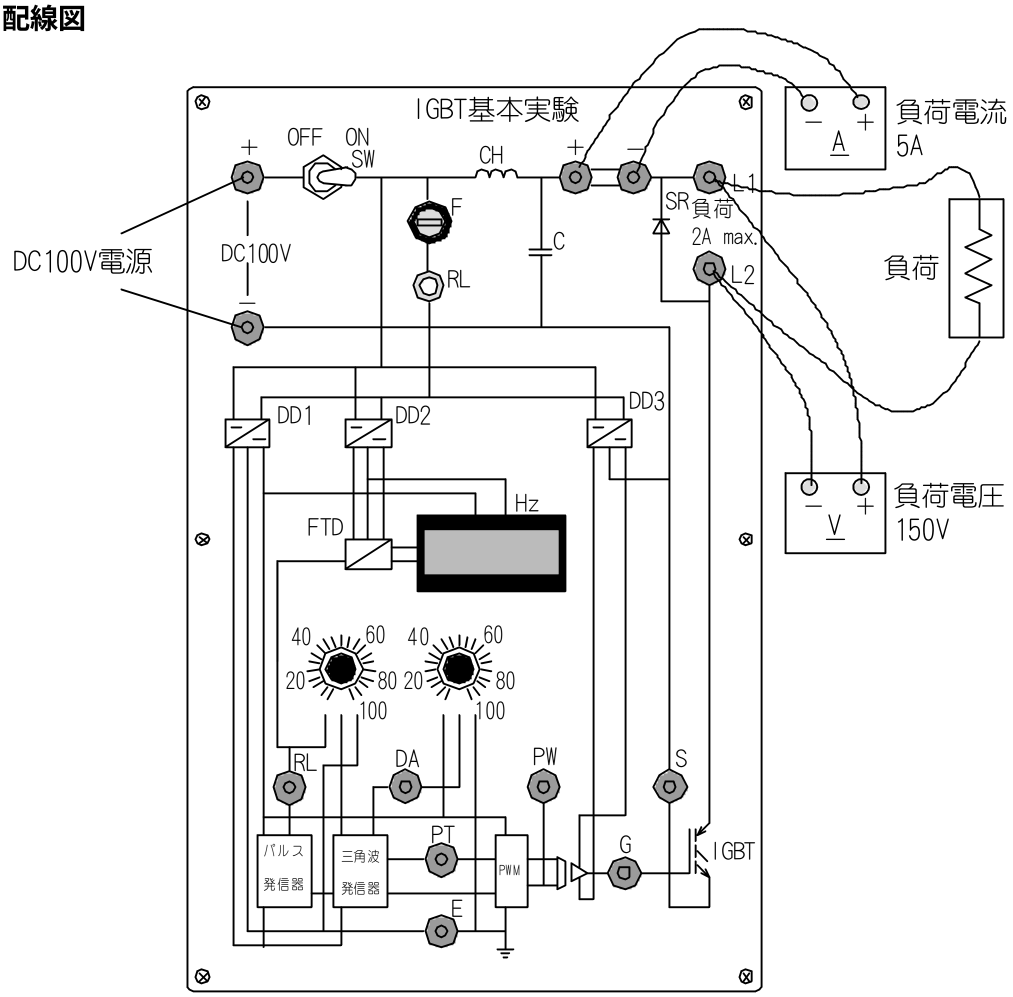


！　御注意

（1）IGBT 基本実験には負荷は内蔵されておりません。別途 40Ω程度 300W 以上の負荷をご用意下さい。
（2）負荷容量は 100Vdc 2A 以下となるような負荷を選択して下さい。
（3）オシロスコープで各部の波形を観測する場合で、2 チャンネル以上同時観測するときは、ゲートドライバー部とパルス発信器、三角波発生器、デューティー比較調整部はコモンを同一としないでください、ゲートドライバー部は他の制御部とアイソレーションされています。

6.IGBT 基本実験

6-4　配線図



負荷電流計を接続するため、端子のシュートバーを外します。

6-5　実験順序

（1）6-4 配線図のように接続します。

（2）電源スイッチ(SW)を”OFF”とし、周波数調整器(VR1)およびデューティー比調整器(VR2)を左いっぱいの位置にします。

（3）直流電源(CB1)を”ON”にし、電源表示灯(RL)が点灯していることを確認します。

（4）周波数調整器(VR1)をゆっくり右に回すと、周波数が変化しデジタル表示器に表示されます。[周波数可変範囲は 500Hz～10,000Hz です]

（5）オシロスコープを PL-E 間に接続し、出力波形が方形波となっていることを確認します。

（6）オシロスコープを PT-E 間に接続し、出力波形が同じ周波数で三角波となっていることを確認します。

（7）周波数調整器（VR1）をある位置で一定とし、デューティー比調整器(VR2)を右にゆっくりと回すと、負荷に電流が流れます。

（8）オシロスコープにより、DA-E 間、PW-E 間、G-S 間、L2-S 間の波形を観測します。

（9）デューティー比調整により変化する、出力電圧、電流を表 6-1 に記録します。

（10）記録が終了したら、デューティー比調整器(VR2)、周波数調整器（VR1）を左いっぱいにし、電源スイッチ(SW)を”OFF”、 直流電源(CB1)を”OFF”にします。

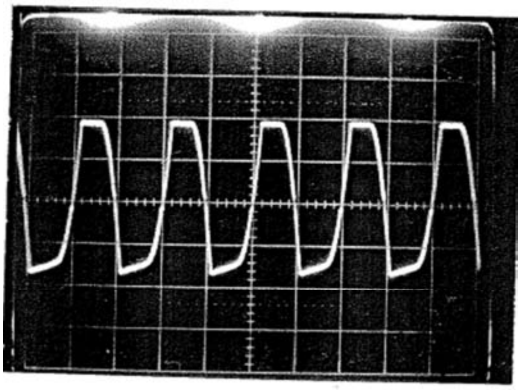
表 6-1

デューティー比（%）	電圧（V）	電流（A）

6-6　各部の波形

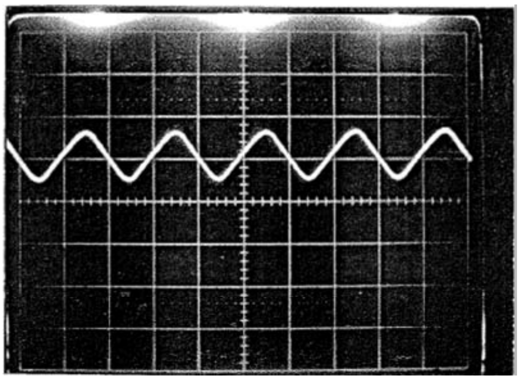
制御周波数：5,000Hz、負荷抵抗：50Ω、デュティー比：50%時の波形例

（1）パルス発信器（PL-E 間）



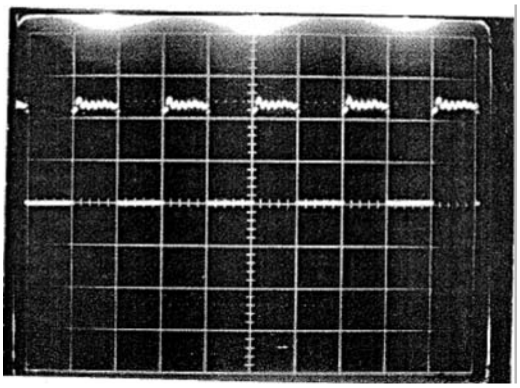
5V/div　0.1mSec/div

（2）三角波整形部（PT-E 間）



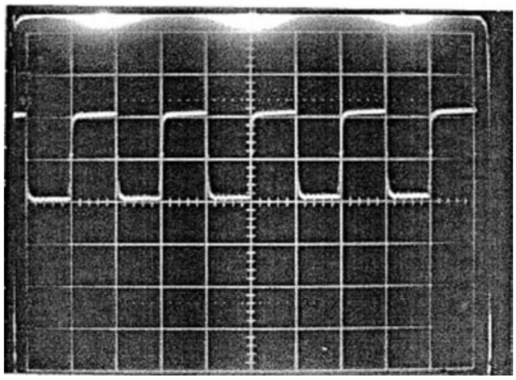
5V/div　0.1mSec/div

（3）PMW 出力部（PW-E 間）



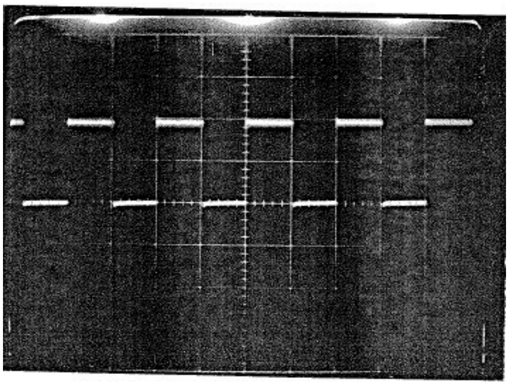
5V/div　0.1mSec/div

（4）ゲート信号部（G-S 間）



5V/div　0.1mSec/div

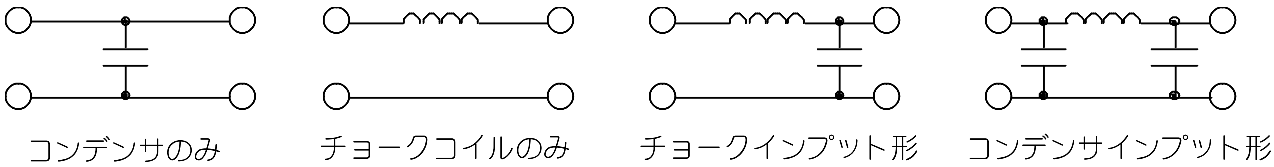
（5）負荷端子（L1-L2 間）



50V/div　0.1mSec/div

7.サイリスタ位相制御全波整流実験

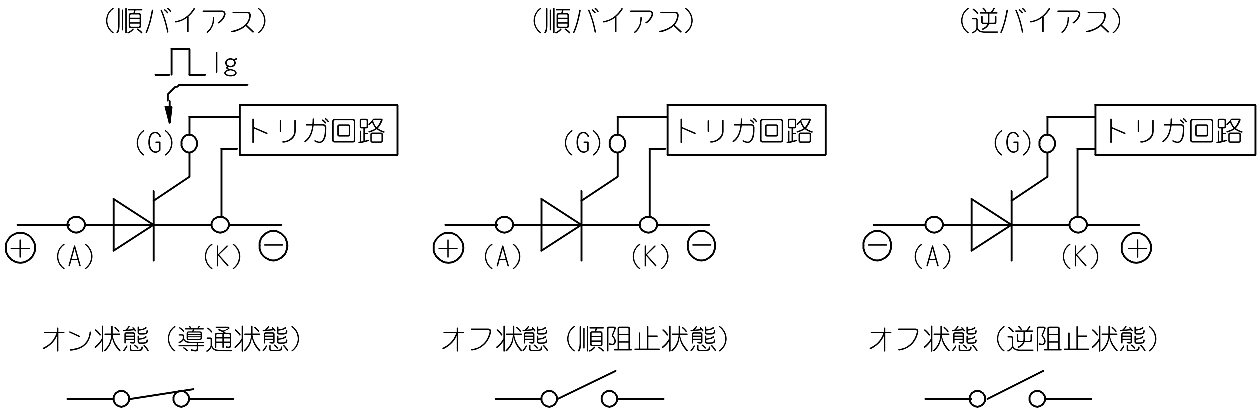
一定の単相交流電源から可変の直流電源を得る、いわゆるコンバータの実験を行います。
可変直流電源を得る方法は、交流の位相制御技術を応用し、パワーデバイス部は二つの SCR と二つのダイオードの混合ブリッジ形と、サイリスタ四個による純ブリッジ形がありますが本実験装置では混合ブリッジ形により直流電圧を可変します。
平滑回路構成として、コンデンサのみ、チョークコイルのみ、チョークインプット形、及びコンデンサインプット形等として、平滑特性が負荷を変化させた場合に直流出力がどのように変化するか、脈動率（リップル率）がどのように変化するかを測定することにより知ることができます。



7-1　サイリスタ動作原理

サイリスタには基本的に導通状態、順阻止状態、及び逆阻止状態も三つの状態があります。
図 7-1 はその各の状態を示します。
回路中において、等価的にサイリスタをスイッチと置き換えて考えれば良く、導通状態ならばスイッチを閉じた状態（オン状態）に等しく、順阻止状態と逆阻止状態ならばスイッチを開いた状態（オフ状態）と等しくなります。

図 7-1



オフ状態からオン状態に移行するためにはいくつかの方法がありますが、最も一般的な方法はゲートトリガによるターンオン（点弧）です。
ターンオンさせるには次の二つの条件を同時に満足させる必要があります。

（1） サイリスタのアノード(A)、カソード(K)間が順バイアスされていること

（2） サイリスタのゲート(G)に正のトリガパルスが与えられていること

ゲートトリガの方法によれば、電源電圧（A-K 間）の大きさや立ち上がり及び回路構成には無関係にサイリスタが順バイアスされている期間ならば､トリガパルスを与える時点を調整することによって、アノード電流を流し出す時点を任意に制御することができます。
ゲートパルスを与える時点としては時間を用いても良いが位相角で表す事が多く、このゲートにパルスを与える時点の位相角のことを点弧角と呼んでおり、一般的にはαの記号で表します。
サイリスタのゲートは、点弧（ターンオン）を制御する能力は持っていますが、消弧（ターンオフ）

する能力は持っていません、従って消弧しようとすれば次のいずれかの方法によらなければなりません。

（1） サイリスタのアノード電流を保持電流以下にする

（2） サイリスタのアノード、カソード間に逆電圧（逆バイアス）を印可する

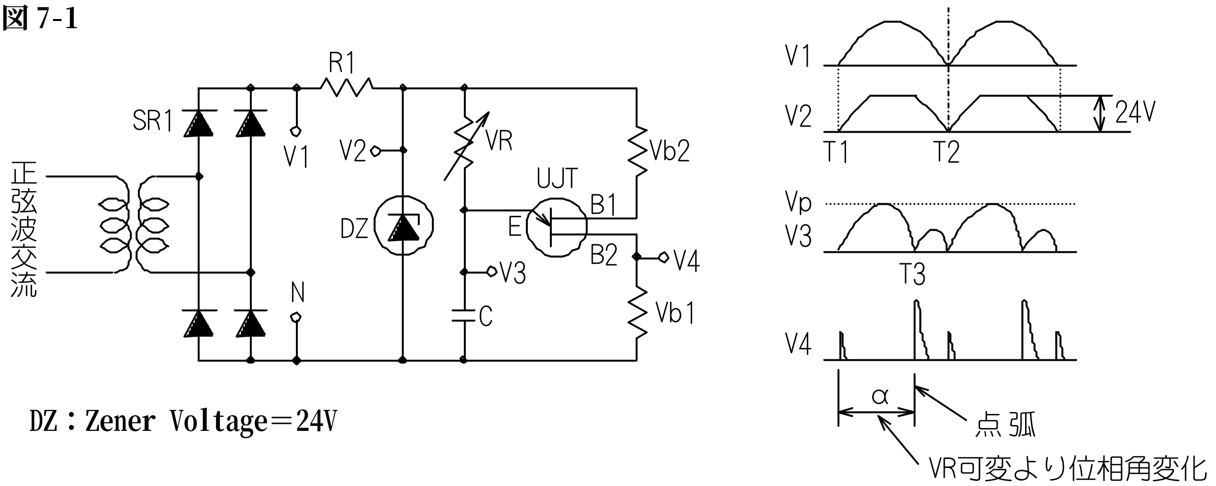
ここで保持電流とは、ゲート電流が無くてもオン電流（アノード電流）を維持できる最小電流をいいます。

7-2 ゲート制御回路（位相制御回路）

SCR の位相制御に最も多く用いられるゲート制御回路にユニジャクショントランジスタ（以下 UJT という）方式があります。

図 7-1 にゲート制御の基本回路を示します。

図 7-1



DZ：Zener Voltage＝24V

図 7-1 において V1 は、SR1 により単相全波整流された波形を示し、V2 は抵抗 R と低電圧ダイオード DZ により、24V 以上をカットされた制御電源電圧を示します。

V2 が 0V の時点(T1,T2)で一度初期状態に戻ります、この時点で電源に対して同期を取ることができます。V2 の電圧が上昇するに従って、可変抵抗 VR を通してコンデンサ C1 に充電され、VR と C1 の時定数に従って V3 の電圧が上昇し、一定の電圧 Vp に達すると UJT の特性により C1 の電荷が UJT の E-B1 を通して放電し、V4 にパルス電圧が発生します。

このパルス電圧の発生時点は、VR を可変することにより 0V からの時間が異なるため、SCR のゲートに加わる位相が変化することとなります。即ち、SCR の位相制御が可能となります。

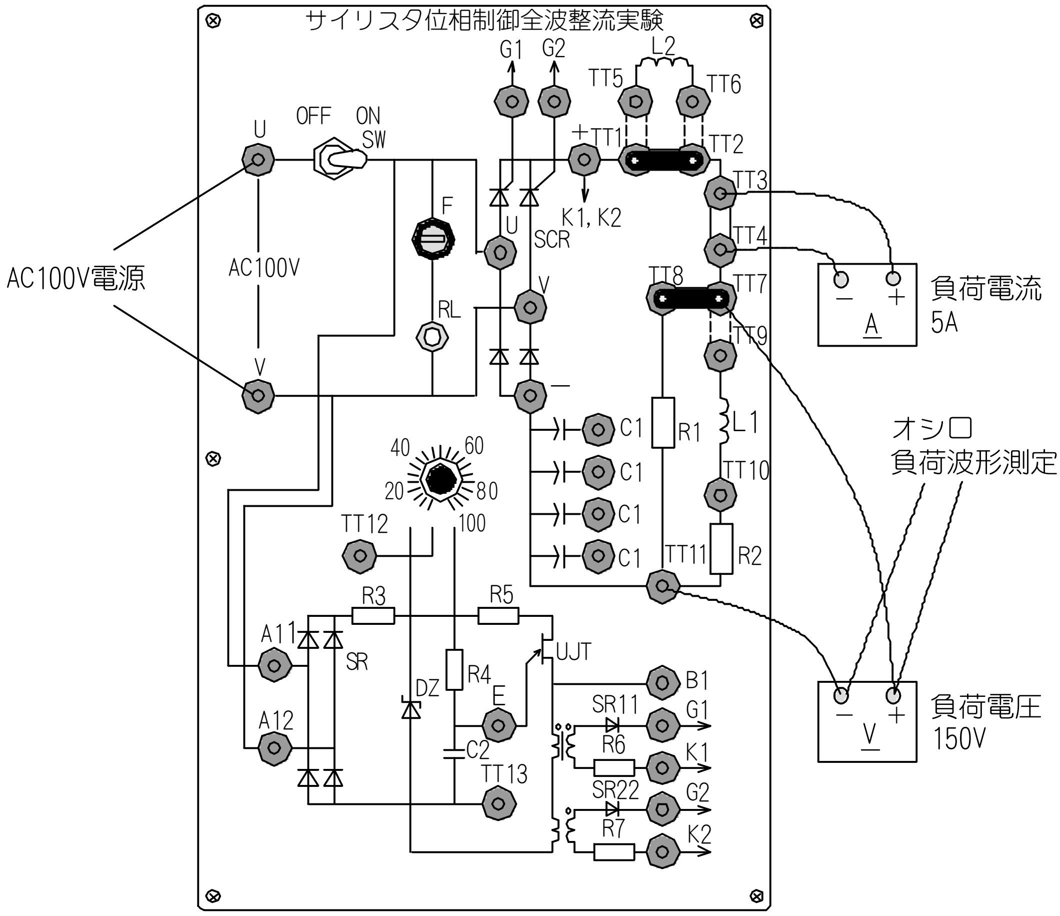
尚、本実験装置では抵抗 VB1 の代わりに、パルストランス(PT)を用い SCR のゲートにパルストリガを加えて点弧させます。

！ 御注意

（1）負荷電流をオシロで測定する場合は、電流測定端子（TT3,TT4）間に 0.1Ω 2W 程度の抵抗器を接続し、その両端で測定してください、この時は負荷電流計を取り外してください。

7.サイリスタ位相制御全波整流実験

7-3　配線図（平滑回路なし）



負荷電流計を接続するため、ショートバーを外します。

7-4　実験順序（平滑回路なし）

（1）7-3 配線図のように配線します。

（2）電源スイッチ(SW)を"OFF"とし、電圧調整器(VR)を左いっぱいの位置にします。

（3）交流電源（CB1）を"ON"にし、電源スイッチ(SW)を"ON"にします、この時、電源表示灯(RL)が点灯していることを確認します。

（4）負荷電圧計が若干振れ、オシロの交流波形の＋側、−側共に等しく＋側にわずかに整流されて出力されていることを確認します。

（5）負荷電圧計、負荷電流計及びオシロを見ながら、電圧調整器(VR)を徐々に右に回し、電圧、電流の増加及びオシロで交流の整流波形が＋側に等しく延びていくことを観測します。
[同時に点弧角を電圧調整器(VR)で可変し､交流位相制御全波整流が行われていることを確認します]

（6）電圧調整器(VR)を左いっぱいの位置に戻し、電源スイッチ(SW)を"OFF"に、交流電源（CB1）を"OFF"にして電源を切断した後に負荷を誘導負荷に切り換えます。

（7）(3)からの手順を行い、抵抗負荷時のオシロ波形と誘導負荷時のオシロ波形の微妙な違いを観測します。

（8）一旦(6)の手順で電源を切断し、表 7-1 の特性を取得します。

（9）負荷を抵抗負荷に切り換えて、同じく表 7-1 の特性を取得します。

表 7-1

a）抵抗負荷時（平滑回路なし）

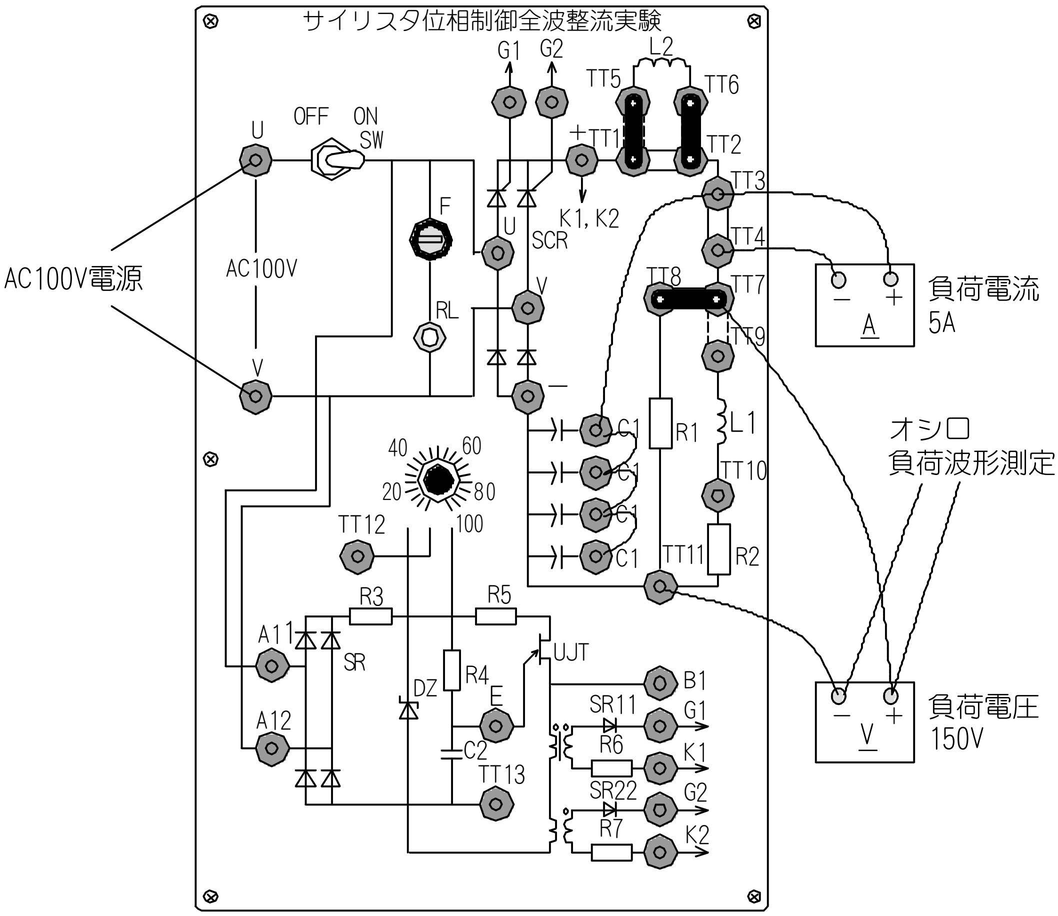
入力電圧(V)	VR 位置（　/10）	出力電圧(V)	出力電流(A)	点弧角(度)
	1 2 ¦ 10			

b）誘導負荷時（平滑回路なし）

入力電圧(V)	VR 位置（　/10）	出力電圧(V)	出力電流(A)	点弧角(度)
	1 2 ¦ 10			

※ 点弧角の測定はオシロ時間軸から測定する。

7-5　配線図（平滑回路あり）



7-6　実験順序（平滑回路あり）

（1）7-5 配線図のように配線します。
（2）電源スイッチ(SW)を”OFF”とし、電圧調整器(VR)を左いっぱいの位置にします。
（3）交流電源（CB1）を”ON”にし、電源スイッチ(SW)を”ON”にします、この時、電源表示灯(RL)が点灯していることを確認します。
（4）電圧調整器(VR)を徐々に右に回しながら、表 7-2 に特性を記録します。
（5）抵抗負荷時、誘導負荷時共に同じように操作し、特性を記録します。

表 7-2

a）抵抗負荷時（平滑回路あり）

入力電圧(V)	VR 位置（　/10）	出力電圧(V)	出力電流(A)	点弧角(度)
	1 2 ¦ 10			

b）誘導負荷時（平滑回路あり）

入力電圧(V)	VR 位置（　/10）	出力電圧(V)	出力電流(A)	点弧角(度)
	1 2 ¦ 10			

※ 点弧角の測定はオシロ時間軸から測定する。

7-7　その他の実験

（1）　コンデンサの並列個数を変更したときの負荷電圧波形変化を観測します。
（2）　リップル率(百分率)を算出します。
リップル率とは直流出力に含まれる変動分（交流分）の程度を表したもので、その値が大きい程に脈動する率が大きくなります。

$$\text{リップル率} = \frac{\text{リップル電圧(電流)の実行値}}{\text{直流出力電圧(電流)の平均値}} \times 100(\%)$$

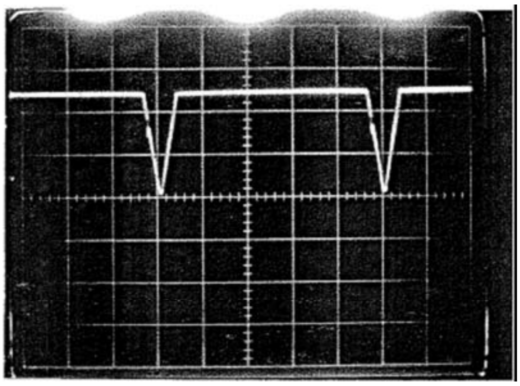
（3）　整流効率を算出します。
整流効率とは、交流入力電力がどの程度出力電力として変換されたかを示します。

$$\text{整流効率} = \frac{\text{直流出力電力(W)}}{\text{交流入力電力(W)}} \times 100(\%)$$

7-8　各部の波形

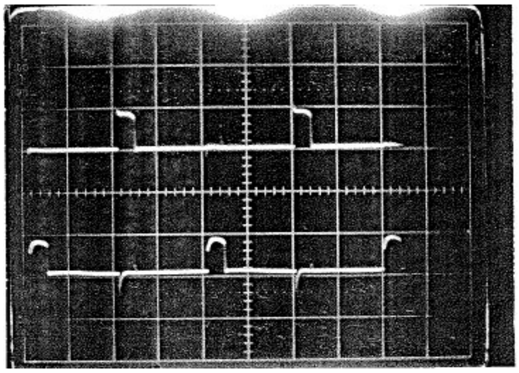
平滑回路なし、負荷抵抗 78Ω時の例

（1）制御部 DZ　（TT12-TT13 間）



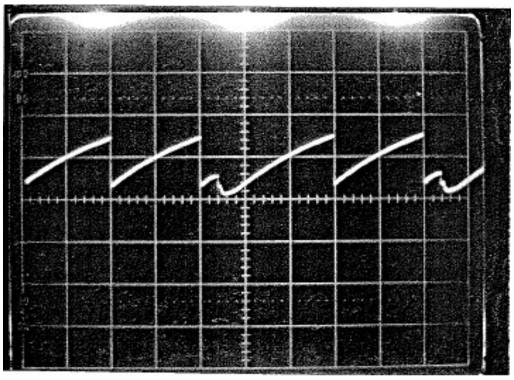
10V/div　2mSec/div

（2）SCR ゲート部　（G1-K1,G2-K2 間）



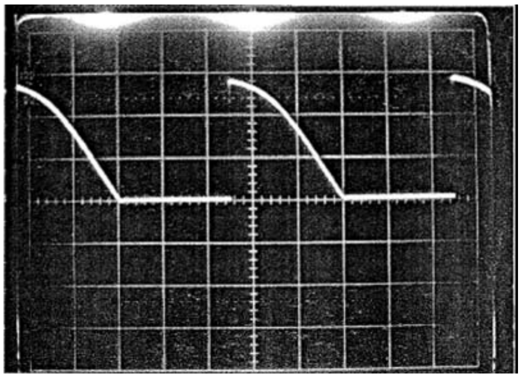
1V/div　2mSec/div

（3）制御部　（E-TT13 間）点弧角 90 度



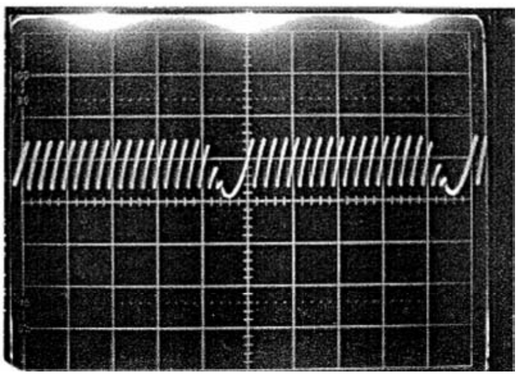
10V/div　2mSec/div

DC 出力　（TT1-－間）



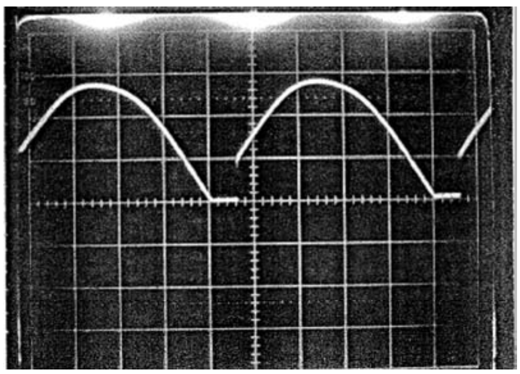
50V/div　2mSec/div

（4）制御部　（E-TT13 間）点弧角 157 度



10V/div　2mSec/div

DC 出力　（TT1-－間）



50V/div　2mSec/div